

刺激呈示視野に対応した後頭部の血行動態反応： 24チャンネルNIRSによる測定

| | |
|-----|---|
| 著者 | 田谷 修一郎，前原 吾朗，小島 治幸 |
| 雑誌名 | 映像情報メディア学会技術報告 |
| 巻 | 30 |
| 号 | 53 |
| ページ | 49-52 |
| 発行年 | 2006-10-26 |
| URL | http://hdl.handle.net/2297/9784 |

刺激呈示視野に対応した後頭部の血行動態反応 —24 チャンネル NIRS による測定—

田谷 修一郎^{†,*} 前原 吾朗[†] 小島 治幸[‡]

[†] 金沢大学大学院人間社会環境研究科 [‡] 金沢大学文学部

〒920-1192 石川県金沢市角間町

E-mail: *staya@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

あらまし 視覚刺激呈示中の後頭部の血流変化を近赤外分光分析 (NIRS) によって計測した。刺激は 7.5Hz で明暗が反転する直径 12 度の放射状チェッカーパターンであり、視野全体、もしくは上下左右に 4 分割した視野に呈示された。1 計測セッションでは 15 秒の刺激呈示と 30 秒の休息を 5 回繰り返す。この間の後頭部の血流変化を 3cm 間隔で正方形に配置した 4×4 のプローブによって計測した。呈示視野条件別にそれぞれ 2 セッションの計測を行った結果、下半視野に刺激が呈示される場合にのみ、刺激呈示視野に対応した領域で酸化ヘモグロビン濃度の上昇と脱酸化ヘモグロビン濃度の減少が認められた。

キーワード 近赤外分光法, NIRS, 血行動態反応, 視覚野, レチノトピー

Hemodynamic responses corresponding to the stimulated visual field —measurements with 24 channel NIRS—

Shuichiro TAYA^{†,*} Goro MAEHARA[†] and Haruyuki KOJIMA[‡]

[†] Graduate school of human and socio-environment studies, Kanazawa University

[‡] Faculty of letters, Kanazawa University

Kakuma-machi, Kanazawa City, Ishikawa, 920-1192 Japan

E-mail: *staya@kenroku.kanazawa-u.ac.jp

Abstract We measured the hemodynamic responses in the occipital regions during visual stimulation with near-infrared spectroscopy (NIRS). The stimulus was a radial checker pattern (12 deg in radius) of which contrast reversed at 7.5Hz, and was presented to the whole or one quadrant of the visual field. In each measurement session, a 15 s stimulating period and a 30 s resting period were repeated five times. Hemodynamic changes at the occipital regions were measured with 4 x 4 probes which were separated from each other by 3 cm. The results of the two-session measurements for each visual field showed that oxy-hemoglobin (Hb) concentration increased whereas deoxy-Hb concentration decreased during the stimulating period. Those changes in the Hbs were corresponding to the stimulated visual field, but only when the lower quadrants were stimulated.

Keyword near-infrared spectroscopy, NIRS, hemodynamic responses, visual area, retinotopy

1. はじめに

1.1. 近赤外分光法 (NIRS)

近赤外分光法 (near-infrared spectroscopy, NIRS) とは、神経活動に伴う脳血流変化をヘモグロビン (Hb) 濃度の相対的な変化量として検出することで脳の活動状態を捉える比較的新しい脳機能計測法である (計測原理についての詳細は文献[1,2]を参照)。

同様に血流変化に基づく脳機能計測法としては、ポジトロン断層法 (positron emission tomography, PET) や機能的核磁気共鳴法 (functional magnetic resonance imagin, fMRI) が既に基礎研究や医療の場で広く活用されている。それらが脳全体の活動を立体的な脳地図

上にマッピングできるのに対し、NIRS は皮質表面の活動を平面的に検出することしかできず、また、計測位置が皮質上のどの部位に対応するのか直接知ることができないといった短所を持つ[2]。

しかし NIRS は短所を補う多くの長所もそなえている[2]。例えば、PET や fMRI と比べ測定時の身体的拘束が格段に緩いため、ごく自然な姿勢で計測を行うことができる。このため、PET や fMRI の狭いスキャナ一内では計測不可能な日常課題や筋運動課題を行っているときの脳活動も、NIRS を用いれば測ることができる[3,4]。また、S/N 比が高いために体動による影響を比較的受け難く、かつ侵襲性が低いことから、他の方

法を適用することが難しい新生児の脳計測も可能である[5]. このように NIRS の利点を活かす工夫次第では、他の計測法では代替できない脳機能研究が可能となるのである.

1.2. NIRSによる視覚野の計測

とはいえ NIRS を用いた脳機能測定はまだ始まったばかりであり、現在は基礎的なデータを積み重ねてその適応可能範囲を精査すべき段階にあるといえる. 本研究では視覚科学における適応の可能性を検討するため、NIRS を用いて後頭部（視覚野相当領域）の脳活動測定を行った.

よく知られるように初期視覚野（V1~V3）の賦活は入力刺激の網膜座標との対応構造（レチノトピー）を持つ[6]. 本研究の目的は、視覚野における刺激と脳活動の空間的な対応関係を NIRS で捉えることができるかどうか検討することであった.

これまでにいくつかの研究が NIRS による視覚野の脳活動計測を試みている [5, 7, 8]. しかしながら先行研究のほとんどは、単に視覚刺激のオン/オフに対応した Hb 濃度変化が検出できたことを報告するに留まる. 唯一 Collier et al. (2001) は左右の半視野に交互に刺激を呈示し、NIRS が左右の視野に対応した脳活動を検出できることを示した [8]. しかし彼らの装置は左右半球に1つずつしかチャンネルを持たず、上下の視野差については検討していない. そこで本研究では、24チャンネルNIRSを用い、上下左右に4分割した視野に刺激を呈示し、それぞれの呈示視野に対応した脳活動を捉えることができるか検討した.

2. 方法

2.1. 被験者

20名の男女（男女比1:1、平均24.0歳）が実験に参加した. 全被験者が正常な視力ないしは矯正視力を有していた.

2.2. 装置

実験は暗室で行った. 刺激はPCで描画し、22インチのCRTディスプレイ上に呈示した. ディスプレイの空間解像度は1024×768ピクセルであり、垂直同期周波数は60Hzであった. 被験者は頭を顎台に乗せ、視距離100cmで刺激を両眼観察した. Hb濃度変化の計測には、日立メディコ社製の近赤外分光装置（ETG-4000）を用いた.

2.3. 視覚刺激

刺激は7.5Hzの周期で明暗が反転する直径12度の放射状チェッカーパターンであった（図2上段）. チェッカーパターンの明るい領域の輝度は104cd/m²、暗い領域の輝度は2cd/m²であり、背景の輝度は51cd/m²であった.

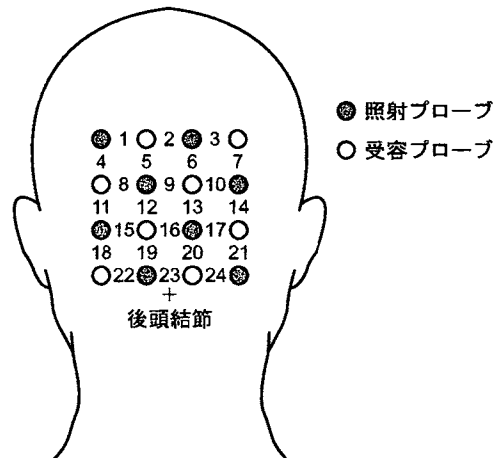


図1 プローブの配置とチャンネル番号

計測条件として、視野全体に刺激を呈示する全視野条件と上下左右に4分割した視野のいずれかに刺激を呈示する4つの分割視野条件の全5条件を設けた. 全視野条件ではチェッカーパターン全体が呈示され、分割視野条件では扇形に4分割したチェッカーパターンが右上、右下、左下または左上のいずれかの視野に呈示された. 分割視野条件では、2つの視野にまたがった受容野を持つ細胞を刺激することを避けるため、扇形のパターン同士の間に見角1度の間隔を空けた. 固視点として一辺見角0.5度の赤い正方形をディスプレイ中央に呈示した.

2.4. 手続き

1回の計測セッションは30秒の待機時間に続く5つのブロックで構成され、1ブロックは15秒の刺激期間とそれに続く30秒の休息期間とで構成された. 休息期間中は固視点のみが呈示され、刺激期間中にはチェッカーパターンと固視点とが呈示された. 被験者には、計測中に固視点から視線を離さず、かつできる限り体を動かさないよう教示した. 被験者が望んだ場合、各セッションの間に数分間の休憩を設けた. 全被験者について、条件別に2セッション計10ブロックずつ計測を行った.

2.5. Hb濃度測定

8個の近赤外光照射プローブと8個の受容プローブを交互に3cm間隔で4×4の正方形格子状に配置し（図1）、酸化Hbと還元Hbの濃度変化を計測した. 照射プローブと受容プローブの間がひとつの計測チャンネルとなるため、この配列は24チャンネルを形成した. それぞれのチャンネルは1秒間に10回の頻度でHb変化量を検出した.

4×4のプローブ配列は被験者の後頭部に、最下列中央のチャンネルが後頭結節の0.5cm真上に位置するように設置された. したがって国際10/20法によるO1を含む9×9cmの領域が計測範囲であった.

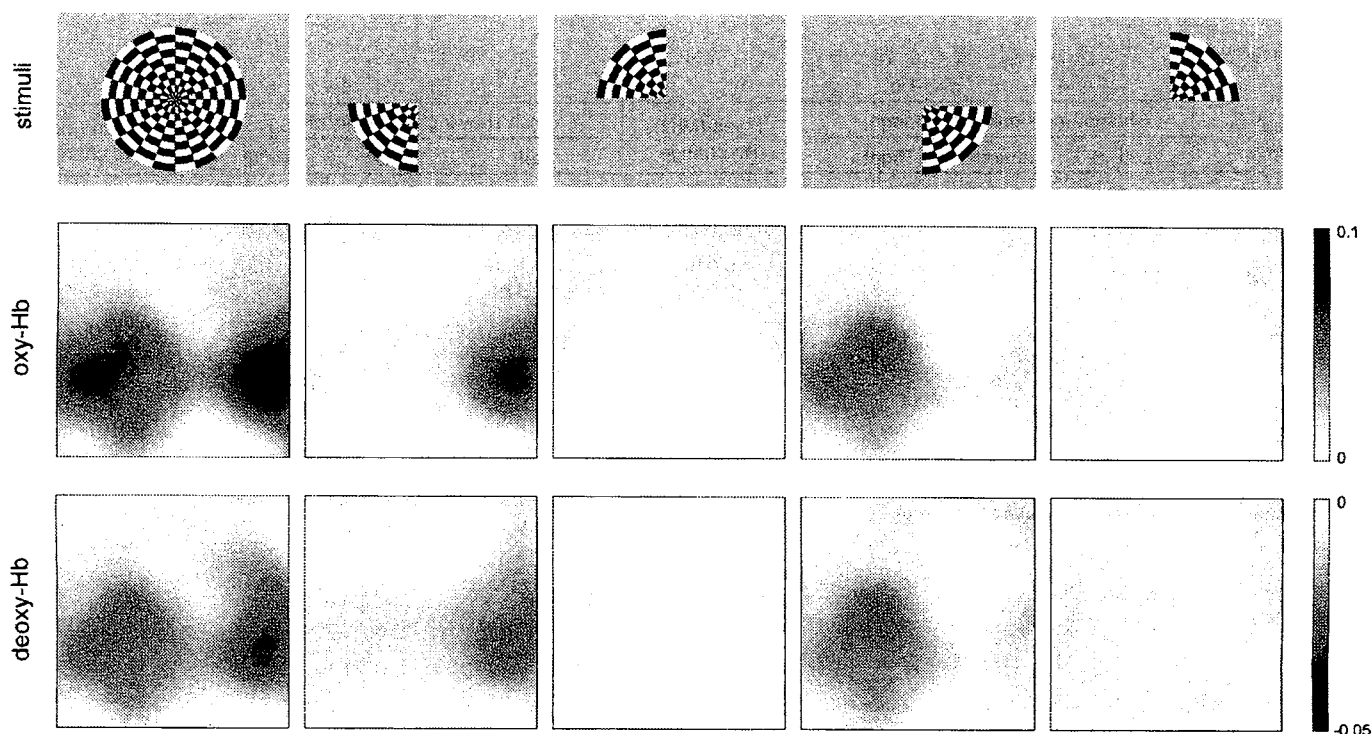


図 2 (上段) 視覚刺激として呈示したチェッカーパターン。(中段) 刺激呈示中の酸化 Hb 濃度変化の分布図 (下段) 刺激呈示中の還元 Hb 濃度変化の分布図. 中段右端と下段右端のバーは分布図の濃さと Hb 変化量の対応を示す(単位は $\text{mM} \cdot \text{mm}$). 中段と下段で分布図のコントラストが反転している点に注意.

2.6. データ処理

得られた計測値はチャンネルごとに以下の手続きで処理された. まず, 体動などに起因する短時間の急激な値の上下を除去するため, 生データに対し 0.1Hz のローパスフィルタリングを行った. 次に, 計測値の長期的な上昇/下降トレンドを除去するため, 各ブロックの刺激期間直前の 10 秒間と刺激期間終了後 20 秒から 30 秒の間の計測点に一次関数を当てはめ, これをベースラインとしてブロックごとにデータの補正を行った.

続いて, それぞれのブロックについて 15 秒の刺激期間における測定値の平均を求めた. この平均値を全ブロックについて加算平均したものを酸化 Hb および還元 Hb の変化量とし, 以降の分析に用いた. ただし Hb 変化量がブロックごとに極端に大きく異なるチャンネル (10 ブロック分の平均値について標準誤差を算出し, これが全チャンネルの平均標準誤差 $+2\text{SD}$ を越えたもの) は分析から除外した.

3. 結果

3.1. Hb 濃度変化の分布図

全被験者の結果をチャンネルごとに平均し, チャンネル間の値をスプライン補完することで Hb 変化量の 2 次元分布図を作成した.

図 2 中段と下段はそれぞれ酸化 Hb 変化量と還元 Hb

変化量の 2 次元分布図である (左から全視野, 左下視野, 左上視野, 右下視野, および右上視野に刺激を呈示した条件). 正方形の枠組みは $9 \times 9\text{cm}$ の計測領域に対応し, 色の濃い領域ほど酸化 Hb の増加量 (または還元 Hb の減少量) が大きかったことを示す.

3.2. 統計的検定

Hb 変化量についてチャンネルごとに 95%信頼区間の検定を行ったところ (以下検定の有意水準は全て 5%), 全ての条件においていくつかのチャンネルで有意な酸化 Hb 濃度の増加と還元 Hb 濃度の減少が認められた. ただし, 有意な活動を示したチャンネルの総数と最大の変化量を示したチャンネルは刺激した視野によって異なった (表 1).

酸化 Hb の変化量について, 視野とチャンネルを要因とする 2 要因分散分析を行ったところ, チャンネルの主効果と要因間の交互作用が有意であった. 視野 \times チャンネル交互作用における単純主効果が認められたチャンネル (Ch11, 12, 14–25) それぞれについて Bonferroni 法による多重比較を行ったところ, 下視野に刺激を呈示した条件では, Ch12, 14, 15, 17, 19 において右視野と左視野を刺激する条件の間で有意差が認められ, 刺激した視野と逆側の半球がより強く賦活したことが示された. しかし上視野に刺激を呈示したときは, いずれのチャンネルにおいても左右の刺激呈示視野間の条件差は認められなかった.

表 1 Hb 変化量の平均値が有意にゼロと異なったチャンネル

| Simulated visual field | oxy-Hb | | | | deoxy-Hb | | | |
|------------------------|-------------------------------------|--------|--|-------------------------|--|-----------|--|-------------------------|
| | Ch showing significant change | | | Mean (Max) Hb change | Ch showing significant change | | | Mean (Max) Hb change |
| | Left | Center | Right | | Left | Center | Right | |
| Whole | 8, 11, 12, 15, 18, 19, 22 | 16 | 3, 7, 10, 13, 14, 17 [†] , 21 | 0.030 (0.086) | 5, 8, 11, 12, 15, 18, 19, 22 | 9, 16 | 3, 10, 14, 17 [†] , 20, 21 | -.011 (-.031) |
| Lower Left | 11, 18 | - | 10, 13, 14, 17 [†] , 20, 21 | 0.016 (0.066) | 4, 5, 11, 12, 15, 18 | 9 | 3, 7, 10, 13, 14, 17 [†] , 21 | -.007 (-.025) |
| Upper Left | 4, 8, 11 | - | 6, 14 [†] , 21 | 0.008 (0.021) | 8, 11 [†] , 18, 22 [†] | - | - | -.002 (-.005) |
| Lower Right | 8, 11, 12 [†] , 15, 18, 19 | 16 | 3, 14, 17, 21 | 0.016 (0.058) | 5, 8, 11, 12 [†] , 15, 18, 19, 22 | 9, 16, 23 | 3, 7, 14, 17, 21 | -.008 (-.025) |
| Upper Right | 11 [†] , 18 | - | 7, 10, 14, 21 | 0.009 (0.020) | 8, 11, 12, 15, 18 | - | 14 [†] , 21 | -.004 (-.007) |

[†]The channel that showed the maximum Hb change

還元 Hb の変化量について、視野とチャンネルを要因とする 2 要因分散分析を行ったところ、両要因の主効果と要因間の交互作用が有意であった。視野×チャンネル交互作用における単純主効果が認められたチャンネル (Ch12, 14-17, 19, 21) それぞれについて多重比較を行ったところ、酸化 Hb と同様に、下視野に刺激を呈示した場合にのみ、左右どちらかの半視野が刺激されたときに、より大きな賦活を示すチャンネルの有ることが示された (Ch12, 14-17, 19)。

4. 考察

24 チャンネル NIRS を用いて視覚刺激呈示中の後頭部の Hb 濃度変化量を計測した。この結果、いくつかのチャンネルで先行研究と同様に [5, 7, 8] 酸化 Hb 濃度の上昇と還元 Hb 濃度の減少が認められた。さらに本研究では、刺激呈示視野に依存した活動部位の違いを NIRS で捉えることができることを示した。

全視野に刺激を呈示した条件では、酸化 Hb、還元 Hb とともに変化のピークが 2 つ認められた (図 2 中下段左端)。これら反応の山は刺激を左下視野に呈示したときは右側のみ、右下視野に呈示したときは左側だけに現れるため、それぞれが左右半球の視覚野に当たると考えられる。また、その間の反応の谷は中心溝に当たると推測される。

下視野に刺激を呈示したときは、刺激された左右の視野の逆側の半球でより大きな Hb 変化が認められた。しかし上視野に刺激を呈示したときには全般的に検出された Hb 変化量が小さく、おそらくこのために下視野で見られたような左右差は認められなかった。この原因としては上視野を刺激したときに活動する領野が、近赤外光の届かない皮質の深部に位置することが考えられる。この可能性を検討するため、現在 fMRI を用いて刺激呈示視野と脳活動の深度との対応関係を検討中である。

5. 謝辞

本研究は金沢大学 21 世紀 COE プログラム「発達・学習・記憶と障害の革新脳科学の創生」の援助を得て行われた。

文 献

- [1] A. Villringer, and B. Chance, Non-invasive optical spectroscopy and imaging of human brain function. Trends Neurosci, vol.20, no.10, pp.435-442, 1997.
- [2] 星 詳子, 機能的近赤外分光法: 限界と可能性, 脈管学, vol.45, no.2, 61-67, 2005.
- [3] M. Okamoto, H. Dan, K. Shimizu, K. Takeo, T. Amita, I. Oda, I. Konishi, K. Sakamoto, S. Isobe, T. Suzuki, K. Kohyama, and I. Dan, Multimodal assessment of cortical activation during apple peeling by NIRS and fMRI. NeuroImage, vol.21, pp.1275-1288, 2004.
- [4] S. Shimada, K. Hiraki, and I. Oda, The parietal role in the sense of self-ownership with temporal discrepancy between visual and proprioceptive feedbacks. NeuroImage, vol.24, 1225-1232, 2005.
- [5] G. Taga, K. Asakawa, A. Maki, Y. Konishi, and H. Koizumi, Brain imaging in awake infants by near-infrared optical topography. Proc Natl Acad Sci USA. vol.100, no.19 pp.10722-10727, 2003.
- [6] R. F. Dougherty, V. M. Koch, A. A. Brewer, B. Fischer, J. Modersitzki, and B. A. Wandell, Visual field representations and locations of visual areas V1/2/3 in human visual cortex. J Vis, vol.3 no.10, pp.586-598, 2003.
- [7] K. Takahashi, S. Ogata, Y. Atsumi, R. Yamamoto, S. Shiotsuka, A. Maki, Y. Yamashita, T. Yamamoto, H. Koizumi, H. Hirasawa, and M. Igawa, Activation of the visual cortex imaged by 24-channel near-infrared spectroscopy. J Biomed Opt. vol.5, no.1, pp.93-96, 2000.
- [8] W. N. J. M. Colier, V. Quaresima, R. Wenzel, M. C. van der Sluijs, B. Oeseburg, M. Ferrari, and A. Villringer, Simultaneous near-infrared spectroscopy monitoring of left and right occipital areas reveals contra-lateral hemodynamic changes upon hemi-field paradigm. Vision Res. Vol.41, pp.97-102, 2001.